

Caracterización hidrogeológica de la ciudad de Río Tercero y entorno rural, Córdoba

David Palacio^{1,2}, Mario Aguirre¹ y Héctor Frontera¹

¹ Cátedra de Hidrogeología, Dpto. de Geología Aplicada, F.C.E.F y N, U.N.C. Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba.

² Secretaría de Minería de la Provincia de Córdoba. H. Yrigoyen 401, Córdoba.

mail de contacto: davidhpalacio@gmail.com

RESUMEN

La zona de estudio incluye la ciudad de Río Tercero y su entorno rural, abarcando un área de 434 km². En la zona se emplaza el polo industrial más importante de la provincia, que se abastece del recurso hídrico subterráneo como la población urbana y rural. El sistema subterráneo es de carácter multiacuífero. Se reconocen dos unidades hidrogeológicas principales: la superior contiene el nivel freático y se extiende hasta los 85 a 100 m de profundidad; y la inferior con cierto grado de confinamiento. Hay diferencias significativas entre la calidad del agua de ambas unidades particularmente en la zona urbano – industrial; donde el acuífero freático ha sido antrópicamente afectado, evidenciado por la presencia de aguas del tipo cloruradas inmersas en un área de aguas bicarbonatadas asociadas a la faja fluvial. Los resultados obtenidos permiten concluir que existe una estrecha relación entre la geomorfología, dinámica y calidad del agua subterránea. Palabras clave: Hidrogeología, Hidroquímica, Geomorfología, Río Ctlamochita.

ABSTRACT

The study area includes the city of Río Tercero and its rural surroundings, covering an area of 434 km². In the region stands the main industrial area of the province, which supplies groundwater resource as the urban and rural population. The system consists of multiple aquifers. Two main hydrogeological units are reconigzed: the top units contains the water table aquifer and extends to the 85-100 m depth. And the lower one with a certain degree of confinement. There are significant differences between the water quality of both units in the urban-industrial area, where the phreatic aquifer has been anthropogenically affected, evidenced by the presence of chloride-type water immersed in a bicarbonate type area, associated with the river. There is a close relationship between the geomorphology, dynamics and groundwater quality.

Keywords: Hydrogeology, Hydrochemical, Geomorphology, Río Ctlamochita

Introducción

La zona de estudio se ubica en el centro de la provincia de Córdoba (departamento Tercero Arriba) entre las coordenadas geográficas: 32° 06' y 32° 15' latitud Sur y 64° 15' y 64° 00' longitud Oeste, abarcando un área de 434 km² (Figura 1).

El área estudiada incluye a la localidad de Río Tercero en el sector central. Las actividades socio-económicas más importantes que se desarrollan son: la industrial (petroquímicas) en el área urbana, la agricultura en el sector rural (Cultivos de soja, maíz, entre otros) y en forma subordinada la ganadería. Para sustentar estas actividades y para los restantes usos, los habitantes del área se abastecen exclusivamente del recurso hídrico subterráneo.

El agua proveniente del acuífero freático es la más importante ya que es la utilizada por la mayor parte de los habitantes rurales de la

zona, aun desconociendo en algunos casos su calidad.

El agua de los acuíferos semiconfinados y confinados es usada en el ámbito urbano de Río Tercero, especialmente por las industrias petroquímicas y la Cooperativa que presta el servicio de agua potable a la población de la ciudad, procedente de una serie de perforaciones profundas que captan agua de capas acuíferas ubicadas entre 100 y 200 m, y que poseen cierto grado de confinamiento.

El objetivo del presente trabajo es avanzar en el conocimiento de las características hidrogeológicas del área, a fin de determinar los condicionantes que influyen en la dinámica y calidad del agua subterránea.

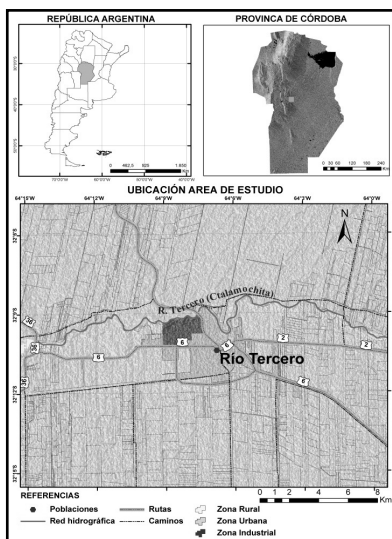


Figura 1. Localización del área de estudio

Metodología de Trabajo

En primera instancia se llevó a cabo una minuciosa recopilación de antecedentes, tanto bibliográficos como de información hidrogeológica específica consistente en registros de perforaciones, perfiles eléctricos, entre otros.

En tareas de gabinete, se identificaron las perforaciones y pozos a muestrear en función de la delimitación del área de estudio definida y siguiendo un criterio de uniformidad en la distribución de las muestras.

Una vez definidos los puntos se planificaron las campañas de muestreo o censo de pozos, donde se relevaron las características técnicas de las captaciones, mediciones de nivel piezométrico, toma de muestra para análisis físico – químico, uso del agua y descripción del entorno inmediato.

Se relevaron más de 180 perforaciones y se procesaron aproximadamente 1500 análisis físico – químicos entre información existente y generada, lo que permitió la elaboración de una base de datos, con la cual se han realizado mapas hidrodinámicos, hidroquímicos, de aptitud de uso, entre otros. Por otra parte, se confeccionó un mapa geomorfológico en base a imágenes satelitales y corroboración en campo.

Las determinaciones físico – químicas se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Durante el lapso de tiempo que duró el estudio, se presenciaron las tareas de ejecución de varias perforaciones, realizadas entre los años 2010 a 2012; en donde se recolectaron y analizaron recortes de perforación, perfiles eléctricos y análisis físico – químicos.

En la realización de los mapas de aptitud de uso del agua, se tomaron como base: para consumo humano, el Código Alimentario Argentino (CAA); para ganadería, la clasificación de Bavera (2001), y para riego, se utilizó la clasificación de FAO (Ayers y Westcott, 1985)) que se considera más adecuada, dado que tiene en cuenta que aguas de muy baja salinidad (por debajo de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) pueden originar problemas de infiltración debido a que tienden a lavar las sales solubles del suelo especialmente el calcio. Sin embargo, se presenta también la clasificación de Riverside (Richards, 1954) porque es muy usada en el país, aunque el riesgo de sodificación en función de la salinidad del agua es considerado en forma inversa.

Descripción del Entorno de Trabajo

Geología y Geomorfología

Hacia occidente, fuera del área de estudio, afloran los complejos ígneos-metamórficos que conforman las sierras de Las Peñas y el extremo sur de la sierras Chicas, constituyendo el basamento de la región y la base de la columna estratigráfica donde se apoyan el complejo sedimentario y volcánico del Grupo Los Cóndores. Por último, se ubican los sedimentos terciarios y cuaternarios, siendo estos los de mayor importancia, ya que componen los principales acuíferos de la zona.

Los sedimentos aflorantes, hacia el norte y sur del área de estudio, son principalmente loess (de texturas franco arenosa fina) de espesores variables, con cementaciones localizadas de carbonato de calcio (tosca) e intercalaciones de limos arcillosos y paleosuelos; incrementándose la presencia de materiales gruesos relacionados a los depósitos recientes del río hacia las proximidades del mismo. En el extremo centro oeste del área de estudio se encuentran pequeños afloramientos basálticos de edad cretácica.

Geomorfológicamente la zona se encuentra inmersa en un ámbito de planicie de agradación eólica característico de gran parte de la llanura oriental de la provincia de Córdoba, modificada por el paleoabánico aluvial del río Ctalamochita. En este contexto el ambiente fluvial, por pulsos climáticos y/o procesos de neotectónica,

presenta tres niveles principales de terrazas: el nivel superior antiguo, nivel medio (sub-reciente) y el nivel inferior reciente (Figura 2).

El desarrollo lateral y en profundidad del paleoabanico aluvial del río, junto a la sedimentación reciente y subreciente del mismo, definen en profundidad las características hidrogeológicas de las distintas unidades acuíferas para el área de estudio y las condiciones químicas del agua subterránea.

Hidrogeología

Dinámica del Agua Subterránea

El sistema subterráneo es de carácter multiacuífero; los sedimentos permeables son difícilmente correlacionables entre las distintas perforaciones debido a su escaso desarrollo areal, por lo que se intentó diferenciar en subsuelo la presencia de distintas unidades hidrogeológicas, que se asumen como espesores sedimentarios con características hidrogeológicas propias.

Los límites en profundidad de estas unidades hidrogeológicas son aún imprecisos, debido a los escasos datos hidráulicos y sedimentarios con que cuentan las perforaciones relevadas; por lo que se definieron de forma estimativa y están sujetos a revisión.

Se diferencian dos unidades hidrogeológicas (Figura 3):

La unidad superior que contiene el nivel freático o libre, y se extiende hasta aproximadamente los 85 a 100 m de profundidad, posee un predominio de sedimentos gruesos con respecto a la unidad subyacente. Los niveles acuíferos podrían tener carácter de semiconfinados. Esta unidad aporta rendimientos específicos significativos y generalmente mayores a la unidad infrayacente que pueden superar los 30-55 m³/h/m.

La unidad inferior, con predominio de sedimentos más finos, aporta rendimientos específicos menores rondando los 10 m³/h/m como rendimientos máximos y con valores normales menores a 5 m³/h/m. Los niveles acuíferos pueden tener carácter de confinados debido a la existencia de importantes espesores de materiales arcillosos que actuarían como niveles acuícludos.

De acuerdo a los datos físico – químicos recabados y procesados, se observan variaciones importantes entre las características físico-químicas de las aguas de las dos unidades hidrogeológicas definidas, principalmente en las áreas fabriles y urbanas debido al mayor nivel de confinamiento de los

niveles permeables de la unidad inferior, que normalmente no se encuentran influenciados por las aguas antrópicamente afectadas de los niveles acuíferos superiores.

La dirección dominante del flujo subterráneo es Oeste - Este, observándose un comportamiento mixto en relación al río Ctlamochita; con una estrecha relación entre el río y las dos unidades hidrogeológicas superior e inferior. Las curvas de la Figura 4, muestran como el río Ctlamochita es de carácter mixto, en algunos tramos es influente, en otros es efluente, dependiendo que tramo de margen se considere. Sin duda estas variaciones, también dependen del nivel (caudal) que presente el río en el momento considerado.

Son para destacar las anomalías que presenta el flujo subterráneo en la zona urbana e industrial, debido a la intensa explotación del acuífero libre (Figura 4).

Por otra parte, se observa que las menores profundidades del nivel freático se encuentran asociadas a la faja fluvial del río Ctlamochita, aumentando hacia el Norte y Sur, con valores máximos de 80 a 87 m al Norte del área de estudio.

Hidroquímica

El acuífero freático presenta variaciones en sus características químicas, las cuales se encuentran condicionadas por la geomorfología. Las aguas más dulces (Conductividad Eléctrica (CE) <1500 µS/cm) se hallan asociadas a la faja fluvial del río Ctlamochita, mientras que las aguas más saladas (CE >1500 µS/cm) se ubican donde predominan los sedimentos loésicos, relacionados a un ambiente eólico (Figura 5).

En la Figura 5, se observan varias zonas diferenciadas en cuanto a la conductividad eléctrica del agua de la unidad superior. Existe una amplia zona con valores bajos de conductividad asociada directamente al río Ctlamochita. En tanto, hacia ambas márgenes del río aparecen zonas con conductividad creciente. Es de destacar que dentro del área urbana, en la unidad hidrogeológica superior, se encuentran valores de conductividad eléctrica elevada con zonación concéntrica, producto de la actividad antrópica.

En la zona sur, se puede establecer que, coincidente con el área urbana, las zonas se estrechan pasando en un corto espacio de valores bajos de conductividad a valores que superan los límites de potabilidad; y dentro de esto, se desarrolla una zona de alta conductividad con tendencia a conformar una cuña dentro de las otras zonas de menor conductividad eléctrica.

Considerando el mapa de facies hidroquímicas de la Figura 5, se diferencian tres tipos fundamentales de agua: bicarbonatadas, sulfatadas y cloruradas.

El agua del río Ctalamochita, en los distintos puntos de muestreo, presenta aguas de tipo bicarbonatada al igual que el agua subterránea en el ámbito de influencia del río; lo que confirma la relación hidroquímica entre ambas.

A medida que aumenta la distancia hacia el norte o el sur aparecen aguas de características sulfatadas, indicio que pertenecen a familias hidroquímicas diferentes.

Coincidente con el área urbana aparece una zona de aguas cloruradas producto de la alteración antrópica urbana e industrial, que va acompañada por un incremento en la salinidad total.

Calidad y Aptitud de Uso del Agua Subterránea

En las tablas 1 y 2 se presentan los estadísticos descriptivos para las variables analizadas, las que permitieron establecer la aptitud de uso del recurso hídrico subterráneo para consumo humano, ganadero y riego.

El agua captada desde el acuífero freático resultó en un 59.60 % no apta para consumo humano, por sobrepasar los límites establecidos por el C.A.A para uno o más compuestos presentes en el agua y en un 40.40 % apta. Las restricciones están determinadas por superar los contenidos en sólidos disueltos totales (21.60 %), dureza (25.65 %), cloruros (15.40 %), sulfatos (19.25 %), flúor (3.85 %), nitratos (9.60 %), nitritos (17.95 %), amonio (36.85 %), hierro total (10.50 %) y arsénico (7.70 %).

En relación a la aptitud del agua para consumo ganadero se observa que el 72.55 % es deficiente en sales, el 9.80 % muy buena, el 1.95 % buena, el 5.90 % aceptable, el 3.90 % mala usable y el 5.90 % no apta para tambo e invierno, mientras que para cría el 72.55 % resultó deficiente, el 11.75 % muy buena, el 5.90 % buena, el 3.90 % aceptable, el 3.90 % mala usable y el 2 % condicionada.

Para riego el agua extraída del acuífero libre, según la clasificación de Riverside (Richards, 1954), es buena en un 45.10 %, buena a regular en un 33.35 %, regular a mala 11.75 % e inapropiada en un 9.8 %.

Por otra parte, si se clasifica el agua para riego según FAO, se obtiene que es apta con ligeras restricciones en un 80.40 %, mientras que el 19.60 % restante, resulta no apta por restricciones severas de salinidad o pérdidas por infiltración.

En los casos de los acuíferos confinados más profundos, la calidad para consumo humano resultó en un 91.65 % apta, en tanto que el restante 8.35 % resultó no apta.

Para ganadería los resultados revelan que el agua es deficiente en sales en un 91.65 % y muy buena en un 8.35 % para bovinos de cría, tambo e invierno.

En relación a la aptitud del agua para riego, según la clasificación de FAO, el 100 % de las muestras son aptas. En el caso de clasificarlas según Riverside (Richards, 1954), el 75 % resultó buena, mientras que el 25 % buena a regular.

Conclusiones

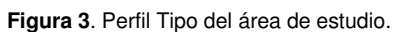
Se ha observado, en algunos sectores del área de estudio, que la explotación puntual de los acuíferos de bajo grado de confinamiento, ha producido un ingreso de agua de mayor salinidad proveniente del acuífero freático antrópicamente afectado.

Se ha puesto en evidencia la importante relación entre la hidrogeología y las condiciones geomorfológicas imperantes, principalmente en la transcendencia que ha tenido en la sedimentación el cono aluvial del río Ctalamochita, que se manifiesta claramente con ápice en el dique Piedras Moras y límites probables al norte en la localidad de Villa Ascasubi y al sur Tancacha, Gral. Fotheringham y Hernando. La manifestación en superficie se traduce en profundidad por la presencia de niveles acuíferos fluviales importantes y agua de baja salinidad, relacionada al tipo de agua del río Ctalamochita (bicarbonatadas).

Se pudo confirmar, con cierta precisión, la presencia de dos grandes unidades hidrogeológicas, una **superior** conformada por acuíferos libres y posiblemente semiconfinados; y la **inferior** por acuíferos confinados; la primera hasta profundidades del orden de los 100 m y la segunda por debajo de los 200 m de profundidad.

El río Ctalamochita es de carácter mixto, aguas arriba de la ciudad de Río Tercero es efluente por la margen izquierda y neutro por la derecha; aguas abajo, entre las equipotenciales de 360 y 340 m, la relación es neutra por ambas márgenes; y por debajo de la equipotencial de 340 m, el río pasa a ser levemente influente por ambas márgenes.

Desde el punto de vista hidroquímico, se puede observar una amplia zona de aguas subterráneas de conductividades entre los 300 y 1000 uS/cm, limitada al norte y al sur por zonas de aguas de mayor conductividad que se ubican



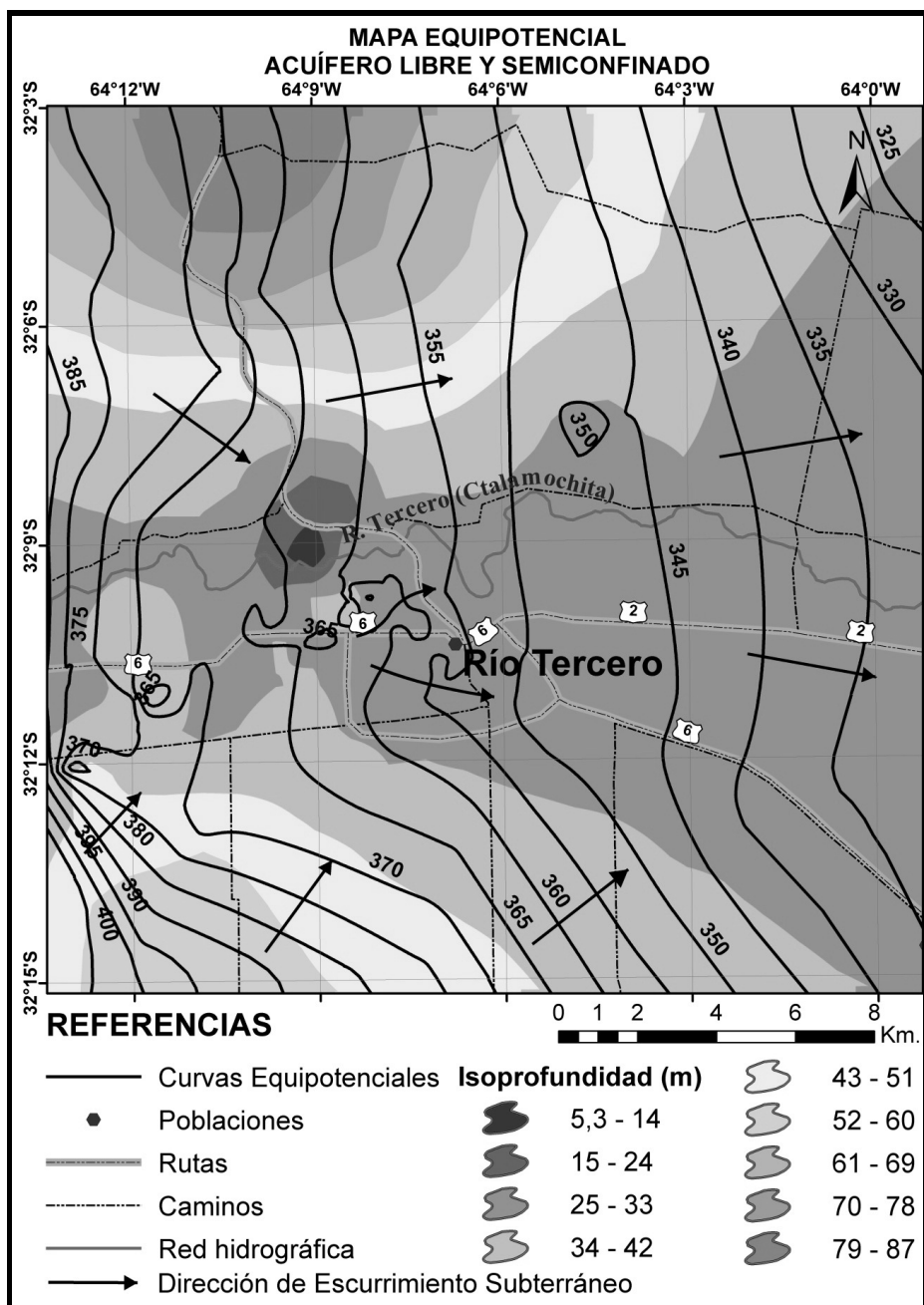


Figura 4. Mapa de curvas equipotenciales, isoprosfundidad y dirección de flujo subterráneo del acuífero freático

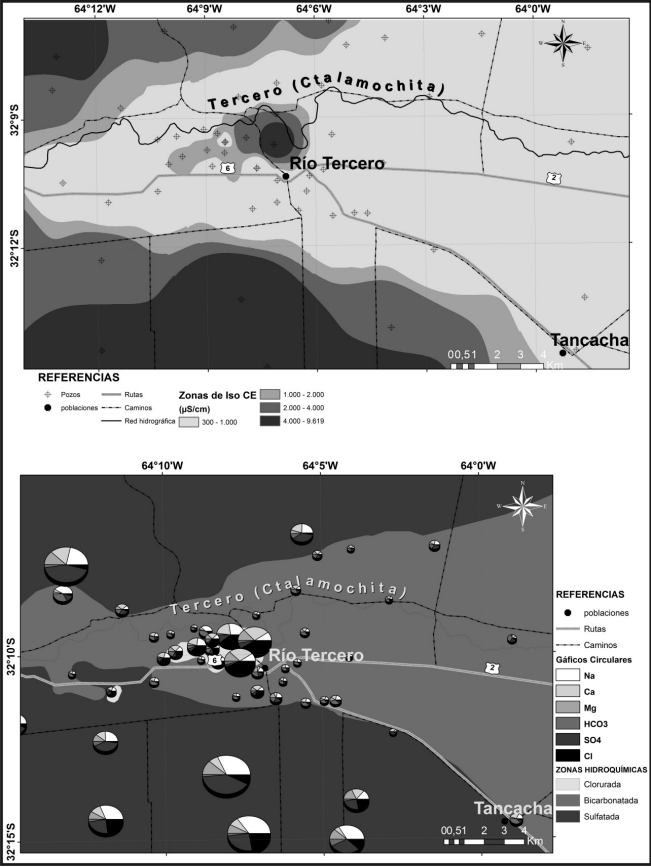


Figura 5. Superior: Mapa de Isoconductividad de los acuíferos de la unidad superior. Inferior: Mapa de Facies Hidroquímicas de los acuíferos de la unidad superior

Tabla 1. Estadísticos descriptivos más importantes de las variables analizadas en el acuífero freático.

Superior	S.D.T (mg/L)	Alcalini dad (mg/L)	Dureza (mg/L)	pH	CO ₃ H ⁻ (mg/L)	CO ₃ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	As (mg/L)	F (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fe total l (mg/L)
Cantidad Muestras	N=51	N=39	N=39	N=52	N=51	N=52	N=52	N=52	N=52	N=52	N=52	N=52	N=52	N=52	N=52	N=39	N=38	N=38
Promedio	1190,8	178,7	352	7,33	214,6	-	426,9	207,6	233	12,1	118	42	0,011	0,51	19,4	0,75	3,63	0,116
Máximo	6734,0	748,0	2390,0	9,50	630,0	156	4443,5	1657,1	2022,2	40,0	584,0	357,3	0,14	6,0	97,0	22,9	80,0	0,8
Mínimo	210,0	38,0	60,0	6,20	46,4	0	7,0	11,0	14,0	3,8	18,4	0,5	0	0,2	0,2	0,0025	0,03	0,025

Tabla 2. Estadísticos descriptivos más importantes de las variables analizadas en el acuífero confinado.

Inferior (N=12)	S.D.T (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	pH	CO ₃ H ⁻ (mg/L)	CO ₃ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	As (mg/L)	F (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fe total (mg/L)
Promedio	449,7	121,5	191,7	7,25	150,6	-	61,3	86,1	56,6	5,5	51,9	14,6	0,005	0,30	11,2	0,0050	0,073	0,048
Máximo	1015	142,0	472,0	7,60	178	-	184,0	336,0	195,0	10,0	128,0	37,0	0,005	0,40	23,0	0,0300	0,20	0,150
Mínimo	205,0	94,0	70,0	6,90	114,7	-	12,0	12,0	25,0	4,0	23,2	1,2	0,005	0,20	2,0	0,0025	0,025	0,025

conformando los límites del abanico aluvial, llegando a valores de 4000 uS/cm. En parte del área urbana se puede observar una isla de alta conductividad presente en la unidad hidrogeológica superior.

Tanto la unidad hidrogeológica superior como la inferior en el ámbito de influencia del río, presentan agua de características bicarbonatadas, similares al río Ctalamochita. Las aguas provenientes de los aportes desde el norte y sur, fuera de la influencia del río, presentan aguas de tipo sulfatadas. En la planta urbana de Río Tercero, aparecen aguas de características cloruradas afectadas antrópicamente.

El avance en el conocimiento de las características hidráulicas y químicas del agua de los acuíferos semiconfinados y confinados, permitirá definir con mayor claridad sus límites en profundidad con respecto al acuífero libre; y aportar datos significativos que permitan desarrollar políticas de gestión y normativas tendientes a preservar sus características y regular su explotación.

Recomendaciones

De acuerdo al análisis de las características hidroquímicas y su distribución areal, es factible planificar adecuadamente la ubicación de futuras perforaciones.

Es necesario que la explotación en las obras de captación, tenga en cuenta las dos unidades hidrogeológicas para que no se produzcan mezclas de agua de las distintas unidades.

Considerando las actividades que se desarrollan en el área y los usos a los que está sometida el agua subterránea, es aconsejable reservar la explotación de la unidad hidrogeológica inferior para consumo humano y destinar la unidad hidrogeológica superior para otros usos.

Es necesario atender a la posible sobreexplotación de los acuíferos para evitar la variación del contenido iónico original.

Del reconocimiento de la dinámica de las aguas subterráneas surge la necesidad de regular las actividades en las inmediaciones del río, teniendo en cuenta el carácter de influente que presenta en algunos sectores.

Agradecimientos

La información con la que se confecciona el presente trabajo es el resultado de la tarea

docente, de investigación y transferencia que realizan los integrantes de la Universidad Nacional de Córdoba, en el marco del convenio con la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos Ltda. de Río Tercero y a los subsidios de Foncyt (Nación) y Mincyt (Córdoba) aportados a través del PID 35/08 "Dinámica, calidad y reservas de aguas subterráneas de la Provincia de Córdoba: potencialidad para usos productivos y sociales".

Referencias

- Ayers, R.S. y Wetscot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper 29 Rev. 1, Roma 174 pp
- Barbeito, O., 2010. Mapa geomorfológico de Río Tercero y entorno rural. Inédito
- Bavera, G. A., 2001. Manual de Aguas y Aguadas para el ganado. Editorial Hemisferio Sur S.A. ISBN 987-43-2856-8. 387 pp.
- Código Alimentario Argentino, 1994. Res. 494/94. Boletín Oficial N° 27.932, 1° sección. Art. 982 modificado.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.
- Riverside, 1954. U.S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U.S. Department of Agriculture Handbook N° 60. Washington.